



Forelæsningsnoter 11995 Designteori og metoder E12

Almegaard, Henrik

Published in:
Forelæsningsnoter 11995 Designteori og metoder E12

Publication date:
2012

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Almegaard, H. (2012). Forelæsningsnoter 11995 Designteori og metoder E12. In *Forelæsningsnoter 11995 Designteori og metoder E12*

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Forelæsningsnotat 1 – 11995

Hvad er ingeniørdesign?

Indledning

Da Roald Amundsen startede på sin færd mod sydpolen den 20. oktober 1911 var et af formålene at kortlægge den sidste del af jordkloden. Dermed satte Roald Amundsens rejse til sydpolen punktum for de store opdagelsesrejser. Herefter var der kun ekspeditioner tilbage til de eventyrlystne. Alle rejser overalt på jordkloden kunne nu planlægges og udføres ved hjælp af kort.

Phileas Fogg var en sådan eventyrer, der i Jules Verne's roman fra 1872 rejste jorden rundt på 80 dage. Men Phileas Fogg var ikke blot eventyrer han var også sportsmand. Ligesom Amundsen ville han rejse hurtigt. Derfor var han også udtryk for en vision om et nyt menneske. Et menneske der beherskede naturen og havde kontrol over begivenhederne.

Kort efter indvielsen af Le Viaduc de Garabit den 10. november 1888, konstrueret og udført af Gustave Eiffel, kunne man køre med jernbane tværs igennem centralmassivet - og dermed var hele Frankrig forbundet med et netværk af jernbaner. Nu kunne enhver ved hjælp af jernbanen og dens køreplaner, planlægge en rejse minut for minut - og gennemføre den som planlagt.

Enkelte designprojekter indenfor byggeriet er som en opdagelsesrejse. Man er på vej ud i ukendt land. Man ved ikke hvad der venter en. Man har kun en vag forestilling om hvor man skal hen - eller om hvordan der ser ud. Man må derfor forberede sig godt, udvælge det rette hold til rejsen og undervejs hele tiden tage bestik af de forhold man rejser under og hvad man observerer, og hele tiden justere sine planer.

Mange byggeprojekter er som ekspeditioner. Man har et nogenlunde klart billede af hvor man skal hen. Man har måske et oversigtskort, men på kortet er der ikke vist nogen veje og det står ikke klart fra starten, i hvilken retning man skal gå, for at komme hurtigt frem.

En del byggeprojekter og mange delopgaver i byggeprojekter er som en togrejse. Det er opgaver, som kan planlægges fra start til slut. Her skal man sådan set bare lære at læse køreplanen og så blot følge de spor der allerede er lagt, for at komme frem i rette tid og god behold.

I dette kursus skal vi beskæftige os med designteori og metoder, det vil sige at vi skal se på hvordan man kan forberede sig på en ekspedition og hvordan man kan orientere sig og finde vej, mens man er af sted.

Roald Amundsen havde valgt sit udstyr og sin rejseform til turen mod sydpolen efter omhyggelige afprøvninger. Han havde igennem mange år undersøgt både nye og gamle teknologier, og han valgte fordomsfrit de teknologier som var bedst egnede til at løse opgaven. Han og hans mænd løb på ski, fragtede bagagen på hundeslæder, bar skindtøj udviklet af eskimoerne og sov i bomuldstelte. Mens de overvintrede lagde de depoter ud og benyttede disse ture til at justere deres grej. For eksempel snittede de en tredjedel af slæderne for at reducere vægten og dermed den energi som hundene skulle bruge til at trække slæderne.



Figur 1. Amundsen og hans mænd ved sydpolen

Det var egentlig en overraskelse at Amundsen begav sig mod Sydpolen. Robert Scott, der var britisk flådeofficer, havde lang tid forinden annonceret at han ville være den første mand på sydpolen og var på det tidspunkt, hvor Amundsen begav sig af sted, allerede på vej med en langt større ekspedition. Scott rejste med hele det Britiske imperium i ryggen. Han havde fx tre nye motorslæder med. Desuden havde han en hel del ponyer, men kun nogle få hunde med. Motorslæderne viste sig ikke at kunne køre under de kolde forhold. Ponyerne blev forsynet med snesko, men sank alligevel ofte i til maven. Desuden kunne de ikke klare kulden og kunne slet ikke forcere gletchere. Og hunde kunne Scott ikke lide. Så han endte med - sammen med sine mænd - at gå til fods og selv trække slæderne. Det lykkedes dem at nå til sydpolen, men de kom aldrig hjem.



Figur 1. Robert Scott (i midten) og hans mænd ved sydpolen

I vil ikke lære at køre hundeslæde i dette kursus, men det vil blive forventet at I kan og vil bruge de teknikker som I allerede har lært, ligesom det forventes at I vil opsøge ny viden og indarbejde nye teknikker, når det viser sig formålstjenligt.

Litteratur

Huntford, R. (1981): Scott & Amundsen, Centrum.

Forelæsningsnotat 2 – 11995

Generel problemløsning

Indledning

Ordet design kommer af det latinske ord *designare*, der betyder "at aftegne, gøre udkast, planlægge".

I ingeniørverdenen har man traditionelt beskrevet designprocessen som problemløsning. Måske for at understrege den tekniske karakter af opgave og løsning, og ikke forveksle den med de mere æstetisk og emotionelt orienterede værker, som arkitekter og kunsthåndværkere frembringer.

Desværre er det at have et problem i daglig tale ofte forbundet med noget negativt. Vi vil se mere nøjternt på det her i kurset og fx bemærke at et godt problem er en mulighed for at finde en god løsning, som er meget værd for mange. Det vil sige at det er en potentiel forretningsmulighed.

Processen

Problemløsning som proces er næppe bedre beskrevet på dansk end i følgende tekst:

Problemet eller opgaven må fastlægges så præcist som muligt. Herefter formuleres løsningsmålene, dvs. fastlæggelse af krav, som må stilles til løsningens egenskaber, samt stillingtagen til hvilke egenskaber, vi ønsker godt tilgodeset med henblik på godhedsvurdering af alternative løsninger. Nu opsøges så mange løsninger til problemet som muligt. Helst alle tænkelige varianter. Kun en god indsigt i den totale løsningsmængde giver rimelig sikkerhed for, at "den bedste" løsning kan findes. Løsningerne må modelleres, dvs. beskrives på formålstjenlig måde, således at løsningsmålene kan anvendes i den efterfølgende undersøgelse. Dette chekes og en tilpasning foretages. Endelig vurderes de modellerede løsninger ved hjælp af løsningsmålene, og en eller et par løsninger kan vælges som den/de bedste.

(Stahl og Tjalve, 1977)

Som det fremgår, kan problemløsning deles op i følgende trin:

1. **Fastlæggelse af problemet og af løsningsmål**
2. **Opsøgning og modellering af løsningsmuligheder**
3. **Undersøgelse og tilpasning af de enkelte løsninger**
4. **Vurdering og valg af løsning**
5. **Gennemfør løsning**

Øvelse 1: Hvilke ligheder og forskelle er der på denne proces og den proces i normalt benytter i forbindelse med opgaveregning?

Eksempel 1

Et almindeligt byggeprojekt er et eksempel på en designopgave. Et byggeprojekt opdeles i ABR 89 i følgende faser:

1. Programfasen,
2. Forslagsfasen,
3. Projekteringsfasen,
4. Udførelsesfasen,
5. Brugsfasen.

I programfasen fastlægges problemet og løsningsmålene. Den øvrige del af designopgaven for ingeniør og arkitekt finder sted i projekteringsfasen, nemlig opsøgning af løsningsmuligheder, undersøgelse og tilpasning af de enkelte løsninger, vurdering og valg af løsning, og endelig gennemførelse af løsning. Idet gennemførelse af løsning for den del af projektet, der vedrører selve udformningen af bygningen, består i udarbejdelse af dokumentationen.

Eksempel 2

Men også det at fastlægge en detailløsning, som for eksempel udformningen af en samling mellem en søjle og bjælke, er en designopgave, hvis proces følger ovennævnte trin.

1. Fastlæg hvilke kræfter der skal overføres og hvor store de er. Fastlæg hvilke deformationer der skal tillades.
2. Opsøg og skitser forskellige løsninger, brug eventuelt lærebøger, tidsskrifter eller kataloger fra leverandører.
3. Dimensioner de forskellige løsninger og vurder arbejdsproces og pris.
4. Sammenlign løsningerne og vælg en god løsning.
5. Tegn og beregn løsningen.

Fraktal struktur

Som det ses af eksemplerne ovenfor, har et designprojekt en struktur, der ligner en fraktal struktur. Hver problemløsning kan deles op i løsning af delproblemer, der igen kan opdeles i løsning af delproblemer osv. Lidt mere generelt kan det beskrives således:

Projektaktiviteten kan med udbytte opfattes som en vekselvirkning imellem analyse- og syntese aktiviteter. Analyseaktiviteter sigter på tilvejebringelse af det erkendelsesgrundlag som syntesen, dvs. opstilling af løsningsmuligheder, baseres på. Løsningsmulighederne sorteres nu og nye analyseaktiviteter muliggør udvælgelse af den bedste. Dette gælder for projektet som helhed, men også for projektets enkelte delfaser.

(Stahl og Tjalve, 1977)



Figur 1: Designprojektets problemløsningsstruktur kan sammenlignes med den fraktale struktur i Sierpinski- trekanten.

Litteratur

Stahl, H. og Tjalve, E. (1977): Konstruktionsteknisk problemløsning, AMT, DTH.

Forelæsningsnotat 3 – 11921

Problemanalyse

Problemanalysen definerer opgaven og består af følgende delopgaver:

- Indsamling af oplysninger
- Analyse af behov
- Formulering af problemet
- Opstilling af specifikationer

Indsamling af oplysninger

Når man skal løse et problem må man sætte sig ind i problemet og de omstændigheder problemet opstår i. I forbindelse med et byggeprojekt er det fx en god ide at besøge stedet hvor bygningen skal ligge og at indsamle historiske, geologiske og andre relevante oplysninger om stedet.

Analyse af behov:

Oftentimes er de første formuleringer af opgaven ikke særligt præcise. Dette er normalt en fordel, fordi en åben problemstilling giver mulighed for flere og dermed bedre løsninger. En meget præcis beskrivelse af problemet kan vise sig blot at være Jeopardy spørgsmålet til en allerede tænkt løsning.

Behovene kan deles op i to kategorier:

1. Opgavespecifikke behov:

Afklar hvem der er interessenter og vurder deres betydning.

Afklar de forskellige interessenters behov fx ved hjælp af interview eller andre undersøgelser.

Afklar kvantitative behov

2. Generelle eller formelle behov:

Krav i lovgivning, bygningsreglementet, normer og lignende.

Eksempel

Hvis man havde foretaget en interessentanalyse i forbindelse med byggeriet af tilbygningen til Det Kongelige Bibliotek "Den sorte diamant", havde man måske tænkt på vinduespudserne og fundet en mere elegant løsning, end at lukke Ring 2 en gang om måneden fra kl. 23 til kl. 5 om morgenen, for at stille en lift op og få pudset vinduerne.

Mens man indenfor industriel produktudvikling ofte lægger meget vægt på at afklare brugernes behov og for eksempel lader designeren interviewe brugere, så antager man generelt indenfor byggesektoren at arkitekten på forhånd kender brugerens behov. Der er dog i almindelig enighed om at dette ikke gælder ved arkitekttegnede enfamiliehuse.

Det er i den forbindelse væsentligt at bemærke at en afklaring af brugernes eller andre interessenters behov, ikke blot består i at spørge om hvilke behov fx brugeren har, men i at afklare brugerens situation og ud fra en analyse af denne at afdække behovene. Dette bør naturligvis suppleres med efterfølgende kontrolspørgsmål.

Antallet af interessenter og omfanget af behovsanalysen er afhængig af problemets art. Er det en ny bydel der skal planlægges, eller er det et vindues u-værdi der skal forbedres?

Hvad er problemet? – Nøglen til en god løsning

Det betaler sig ofte at bruge lidt ekstra tid på at forholde sig kritisk til hvad problemet er og analysere grundigt hvad problemet egentlig er. Hvad er fx problemet bag problemet? Er problemet bare en uheldig bivirkning ved en anden løsning, så er det måske bedre at løse det oprindelige problem på en bedre måde. Og hvilke forudsætninger gør vi os implicit – altså uden at tænke over det? En god metode til denne analyse er at opstille et behov/middel træ som beskrevet i (Stahl og Tjalve, 1977, s17-24)

Formulering af problemet

Problemformuleringen skal indeholde:

- en beskrivelse af problemet
- en afgrænsning af problemområdet
- en beskrivelse af de mest karakteristiske egenskaber ved løsningen.

Eksempel

I kursus 11981 og 11982 F12 blev stillet følgende opgave:

“The assignment is to design a new net-zero energy building containing the teaching facilities for the new bachelor in building design at the Department of Civil Engineering at DTU.

The building should be an extension of building 117 somewhere in the space between the North-Eastern corner of the parking area east of building 118 and the existing buildings 115-116-117-118.

It is envisaged that the new building should accommodate

- 60 new students every year, in total 180 students
- necessary teaching facilities, seminar rooms, group rooms, study rooms
- staff offices and facilities rooms
- possibly workshops, experimental areas, expositions areas, atrium etc.
- connection to building 117
- flexibility towards future usage and expansions

The challenge is to develop the building with respect to the following qualities:

- internal and external design in accordance with the design policy of DTU campus
- possibly negative energy consumption over the span of a year
- optimized to a minimum construction and running energy consumption per student
- supports sustainability with low-carbon footprint and minimizes the strain on natural resources over the entire lifecycle
- net-zero energy consumption including embedded energy in structural and functional materials and components from construction and renewal over the entire lifecycle.”

Krav og kriterier

Specifikationer opdeles i krav og kriterier:

Krav: Specificerede egenskaber som løsningen ikke må fravige. Kravene skal være klare og adskiller løsninger fra ikke-løsninger.

Kriterier: Beskriver væsentlige egenskaber og anvendes til at adskille gode løsninger fra mindre gode løsninger.

Krav og kriterier kan suppleres med bemærkninger, åbne spørgsmål, kommentarer eller ønskelige egenskaber, som måske bliver til kriterier senere i processen.

Byggeprojekter er underlagt mange krav fra lovgivning og myndigheder. Normalt anføres kun afvigelser fra disse krav.

Krav, kriterier og bemærkninger kan med fordel opstilles i et skema med udgangspunkt i de forskellige livsfaser, se figur 2.

Livscyklus fase	Krav	Kriterier	Bemærkninger
Design			
Fremstilling			
Transport			
Opførelse			
Brug			
Vedligehold			
Nedrivning			

Figur 2.

Litteratur

Stahl, H. og Tjalve, E. (1977): Konstruktionsteknisk problemløsning, AMT, DTH.

Forelæsningsnotat 4 – 11995

Idé og løsningsgenerering

Indledning

Hvordan får man en god idé? Hvordan finder man en god løsning?

Frederik Løchte Nielsen og hans makker Jonathan Marray har netop mens dette skrives (7. juli 2012) vundet Wimbledon i herre double. De kom med på et wild card og deres spil bliver i aviserne beskrevet som noget specielt. For eksempel gør Løchte og hans makker på et tidspunkt hvor de er bagud i finalen, dommerne opmærksom på at de har begået en fejl – Marrays ketcher her strejft nettet – hvilket ingen andre har set. Det betyder at det point de spiller om, går til modstanderne. Som det beskrives fokuserer Løchte på at "spille situationen", ikke scoren, ikke modstanderen, bare situationen, når han spiller (Rasmussen 9. juli 2012).

Man kan sige at Løchte og Marray vinder Wimbledon - ikke ved at ville vinde Wimbledon, men - ved at ville spille en god kamp.

At finde en god løsning på et vanskeligt problem kræver to ting:

1. Forberedelse
2. At man lader underbevidstheden arbejde.

Vi kender sikkert alle oplevelsen af at få en god idé, lige efter at være stået ud af brusebadet. Hele dagen inden har man siddet og grublet over hvordan problem skulle løses, næste dag vågner man, går i bad, og pludseligt står det helt klart, hvad man må gøre. Hvad er det der er sket?

Først har man forberedt sig ved at tænke alle mulige løsninger - det vil sige alle de løsninger, som man umiddelbart kunne komme på – og alle mulige forhindringer igennem. Derefter har man "sovet på det", det vil sige at man har givet underbevidstheden mulighed for at tumle med problemet og finde en løsning. Det er underbevidstheden rigtig god til. Hvor bevidstheden har svært ved at arbejde med mere end en ting ad gangen, så er underbevidstheden vandt til at arbejde med mange forskellige input, finde mønstre i disse input og konkludere i en handling. Til sidst har man givet underbevidstheden mulighed for at komme til orde, ved at stå i brusebadet og ikke rigtigt tænke på noget.

Forberedelsen

Det primære formål med forberedelsen er at sørge for at underbevidstheden har alle de informationer, der er nødvendige for at kunne finde en god løsning. Dette gør man naturligvis helt bevidst.

Forberedelsen kan bestå af følgende punkter:

- At sætte sig grundigt ind i forudsætningerne
- At hente inspiration fra forskellige kilder
- At analysere sig frem til hovedproblemet/problemerne

At sætte sig ind i forudsætningerne, er at gå et nogle skridt længere end i problemanalysen. Det kan være at man skal have fat i nogle materialeegenskaber, geografiske informationer eller nogle nye beregningsmodeller. Det kan også være at man skal forsøge sig med nogle løsningsforslag, for på

den baggrund at blive opmærksom på om der er nogle informationer man mangler.

Forslag til inspirationskilder fremgår af afsnittet nedenfor.

Nogle gange viser det sig at hovedproblemet ligger et andet sted end man først troede, eller det viser sig at opgaven er komplekst og består af flere problemer. Derfor kan det være en god ide at afklare hvad problemet egentlig er. At skulle løse flere forskelligartede problemer samtidigt er ikke nødvendigvis en ulempe, det giver mulighed for at finde en konceptuel løsning, der slår flere fluer med et smæk (se forelæsningsnotatet om Koncepter).

Inspirationskilder

Naturen

Naturen har løst mange tekniske problemer. For eksempel udgør den bærende konstruktion i ethvert pattedyr en avanceret forspændt konstruktion bestående af dele i tryk – skelettet – og dele i træk – muskler og sener. Konstruktionen er oven i købet bevægelig, takket være musklerne. Kikker man nærmere på en knogle, ses at den er opbygget som et rør. Og kikker man nærmere på knogle- eller rørvæggen, ser man at den er opbygget af et gitterværk der afstiver væggen mod buckling, og at tætheden vokser, jo nærmere man kommer overfladen, hvilket giver knogletværsnittet et højt inertimoment. Den biologiske evolutionsproces har ført til at mange af dyre- og planterigets løsninger er højt specialiserede og optimerede, og de udgør derfor væsentlige inspirationskilder for ingeniører. Men også andre dele af naturen fx mineralriget kan bruges. Brudmønstre i lerjord har for eksempel givet inspiration til udformning af konstruktioner (Rietzel 1997).

Oprindelig/primitiv arkitektur

Det er karakteristisk for oprindelig arkitektur at man har anvendt lokale materialer og taget stort hensyn til det lokale klima. Det betyder at man placerer, orienterer og udformer bygningen i forhold til de lokale vejrforhold og at man anvender få materialer, hvis egenskaber man på baggrund af mange års erfaring forstår at udnytte optimalt. Dette gør det interessant at undersøge og analysere såkaldt primitiv arkitektur og at sætte sig ind i dens forudsætninger. Uden at kende forudsætningerne kan man ikke bedømme tankegangen og håndværket bag løsningerne - og ofte er dette mere inspirerende og anvendeligt end blot at kopiere løsningerne.

Klassiske værker

Eksempel: Utzons platforme, se forelæsning

Fremragende Ingeniører og Arkitekters værker

Eksempel: Torrojas skaller, se forelæsning

Andre teknologiområder

Eksempel: isskrue – skruerpæl, se forelæsning

Teoretiske principper

Eksempel: skivekonstruktioner, se forelæsning

Nye materialer, kvaliteter eller produktionsmetoder

Eksempel: Centre Pompidoux, se (Rice 1994) p24-47.

Udnyt underbevidstheden

Nedenfor er beskrevet nogle metoder, der lader underbevidstheden arbejde:

Brainstorm

Brainstorm foretages i en gruppe. For at intensivere forløbet kan man vælge at stå omkring et bord. Brainstormreglerne er følgende:

- **Focus on quantity:** This rule is a means of enhancing divergent production, aiming to facilitate problem solving through the maxim *quantity breeds quality*. The assumption is that the greater the number of ideas generated, the greater the chance of producing a radical and effective solution.
- **Withhold criticism:** In brainstorming, criticism of ideas generated should be put 'on hold'. Instead, participants should focus on extending or adding to ideas, reserving criticism for a later 'critical stage' of the process. By suspending judgment, participants will feel free to generate unusual ideas.
- **Welcome unusual ideas:** To get a good and long list of ideas, unusual ideas are welcomed. They can be generated by looking from new perspectives and suspending assumptions. These new ways of thinking may provide better solutions.
- **Combine and improve ideas:** Good ideas may be combined to form a single better good idea, as suggested by the slogan "1+1=3". It is believed to stimulate the building of ideas by a process of association.
- **10-15 minutes is enough:** Prepare for a brainstorm, it should address a specific question. Then stop after 10-15 minutes - the ideas dry out.

Omvendt brainstorm

Hvis man ønsker løsninger med en specifik egenskab, kan det være en god ide at gennemføre en omvendt brainstorm, hvor formålet er at finde løsninger, der har den modsatte egenskab. Hvis man vil undgå overophedning kan en omvendt brainstorm fx gå ud på at finde måder at varme huset mest muligt op ved hjælp af solindfald gennem vinduer. Når ideerne efter brainstormen er kategoriseret, er næste skridt at vende hver negativ idé til en eller flere positive ideer.

Skitsering og modelbygning

Skitsering med blyant lader i mange tilfælde underbevidstheden slippe fri af bevidsthedens snærende bånd. Med en stabel blankt papir og en ikke for spids blyant kan man i løbet af kort tid producere en masse skitser. Principet er ligesom i brainstorm: mange skitser, undgå (selv)kritik, radikale forslag er velkomne, kort og intenst. Kategorisering og kombination kan med fordel vente til senere. Kan udføres alene eller i en gruppe.

I en række tilfælde og specielt når den rumlige geometri spiller en stor rolle, er det en fordel at arbejde med – ofte meget simple – fysiske modeller. Ikke alene i forbindelse med afprøvningen men også under fremstillingen, arbejder underbevidstheden med, og muligheder som man ikke havde set før, viser sig og kan afprøves med det samme (se også notatet om Modelteknik).

Eksperimentet

Fysiske eksperimenter er mere end blot trivielle teknikaliteter, hvis eneste formål er at dokumentere hypoteser. Konkrete erfaringer viser at eksperimenter specielt af en mere legende karakter, ofte er kilde til forståelse af nye sammenhænge, opstilling af hypoteser og udvikling af nye løsninger. Måske

er det fordi eksperimenter af denne type nogle gange baserer sig på fysiske erfaringer, som endnu ikke er udmøntet i egentlige formulerede hypoteser.

Systematisk opsøgning af løsninger

I tilfælde hvor man er overbevist om at der allerede eksisterer løsninger på ens problem eller at løsningen kan findes ved en relativt simpel kombination af eksisterende løsninger, kan det være hensigtsmæssig at anvende en mere systematisk fremgangsmåde.

Eksempelsamlinger

Eksempelsamlinger er ikke nødvendigvis systematisk opbygget, men de kan gennemgås systematisk. Generelt er eksempler i lærebøger, anvisninger og kataloger velafprøvede og dokumenterede.

- Lærebøger
- Gamle lærebøger, som fx Anker Engelund (1947): Trækonstruktioner er særligt gode fordi de i højere grad beskriver principper
- SBI anvisninger
- Materiale fra brancheorganisationer fx Træinformation
- Tidsskrifter
- Kataloger

Morfologisk teknik

Anvendes til opstilling af mange løsningsforslag til veldefinerede problemer på principniveau.

1. Opstil en liste over egenskaber, der tilsammen beskriver en løsning
2. Opstil for hver enkelt egenskab en liste over midler, der netop har denne egenskab
3. Alle kombinationerne af et middel for hver egenskab er nu en principiel løsning.

Se figur 1 på næste side.

Oversigtsværker

Oversigtsværker som (Engel 1997) og (Büttner und Hampe 1985) er eksempler på anvendelse af den morfologiske teknik til en systematisk opstilling af statiske systemer.

Efterskrift

Der findes mange flere metoder end de her nævnte til at udnytte underbevidstheden; "kreativ problemløsning" er en ofte benyttet fælles betegnelse. En stor del af dem har primært til hensigt at nedbryde vante tankemønstre for derved at give plads til nye ideer.

Derfor kan man sige at udvikling af gode ideer og løsninger handler om at vælge vidende, men nysgerrige mennesker og at sætte de rigtige rammer for processen.

Litteratur

Büttner und Hampe (1985): Bauwerk Tragwerk Tragstruktur, Ernst & Sohn.

Engel, H. (1997): Tragsysteme Structure Systems, Hatje Cantz.

Larsen, O. P. and Tyas, A. (2003): Conceptual Structural Design, Thomas Telford, London.

Polya, G. (1957): How to Solve it, Second edition, Princeton University Press, Princeton.

Rasmussen (9. juli 2012): Kærlighed på det grønne græs, Information.

Reitzel, E. (1979): Fra brud til Form, Polyteknisk forlag.

Rice, p. (1994): An Engineer Imagines, Artemis, London.

Stahl og Tjalve (1977): Konstruktionsteknisk problemløsning, AMT, DTH.

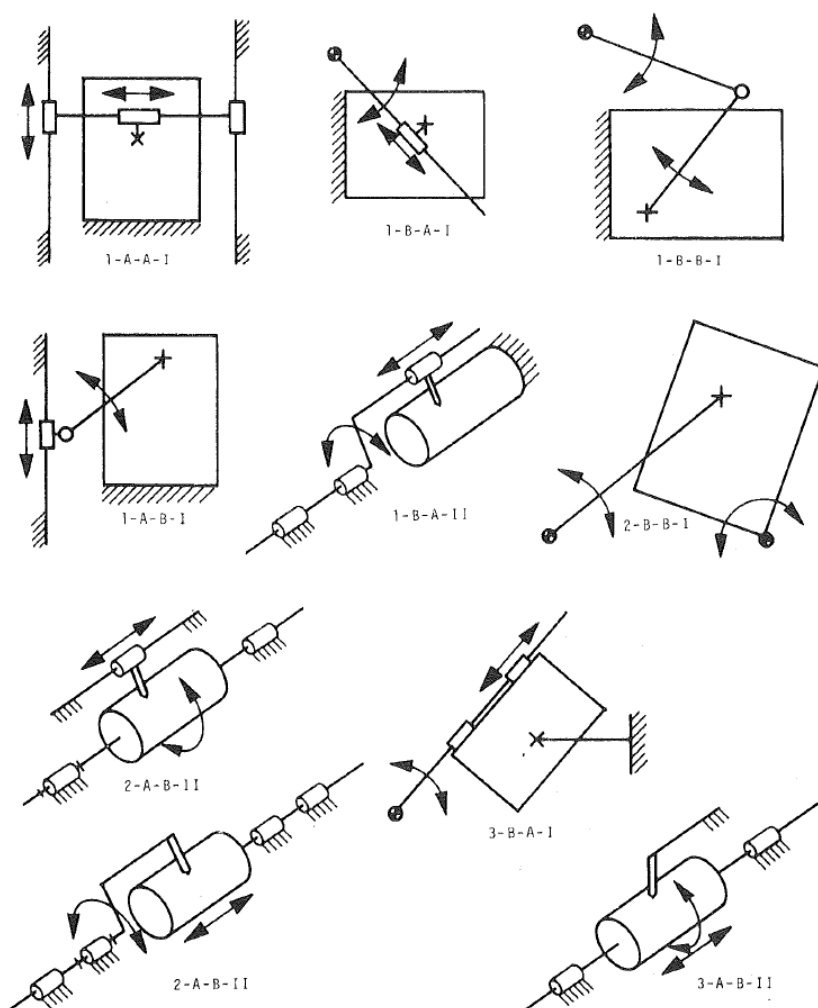
Principper (principielle strukturer) for en plotter kan opstilles således:

Karakteristika: Relativ bevægelse mellem pen og papir for 2 koordinater
 Bevægelsesgeometri pr. bevægelse
 Skrivefladens form

Morfologisk skema (svarer til gruppe 3 ovenfor):

Relativ bevægelse	Bevægelsesgeometri pr. bevægelse	Bevægelsesgeometri pr. bevægelse	Skrivefladens form
1. pen + pen	A. retlinet	A. retlinet	I plan
2. pen + papir	B. cirkulær	B. cirkulær	II cylindrisk
3. papir + papir			

Principielle strukturer ud fra kombinationer:



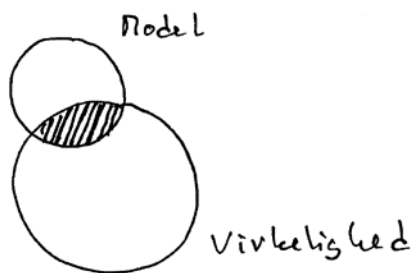
Figur 1. Eksempel på morfologisk teknik anvendt på plotter (Stahl og Tjalve 1977) s101.

Forelæsningsnotat 5 – 11995

Modeller

Definition

En model er en repræsentation af en del af virkeligheden – eller en del af en mulig fremtidig virkelighed – der har visse egenskaber til fælles med denne virkelighed.



Figur 1. Forholdet mellem model og virkelighed

Eksempler på modeller:

- Tegninger
 - Skitser
 - Diagrammer
 - Målfaste tegninger
- Matematiske modeller
 - Grafer
 - Formeludtryk
 - Beregninger
- Computermodeller
 - Geometriske
 - Statiske
 - Visuelle
 - System
- Fysiske modeller
 - Visuelle
 - Rumlige
 - Statiske
 - Konceptuelle

Øvelse:

Beskriv for hver af ovenstående modeltyper hvilke egenskaber de primært har til fælles med virkeligheden. Underinddel gerne modellerne. Er der væsentlige egenskaber, som man ikke kan repræsentere med modeller?

Modelteknik

Modeller anvendes både til at fastholde ideer og skitsere løsninger med, til at eksperimentere med, til at undersøge og bearbejde løsningsforslag med og til at vurdere løsningsforslagene med.

Det tager tid at fremstille modeller. Det er derfor vigtigt at vælge den rigtige type model. Modellen skal have de egenskaber, som man ønsker at undersøge, men skal derudover være så simpel som muligt. Generelt gælder at det er bedre at udføre to sæt modeller til at undersøge to sæt egenskaber, end det er at udføre et sæt modeller til at undersøge begge sæt egenskaber.

Til fastholdelse af ideer og løsninger er simple håndskitser de mest egnede. Hvis de skal kommunikeres til andre, kan en rentegning være en god ide.

Til eksperimenter har man som regel brug for at modellere de fysiske egenskaber og da kan enten computermodeller fx ForcePad2 - eller endnu bedre - fysiske modeller anvendes.

Når løsningsforslag skal undersøges og bearbejdes, kan der være en tendens til at bearbejde det forslag som man på forhånd bedst kan lide til et højere detaljeringsniveau end de øvrige. For at kunne bedømme forslagene på det samme grundlag er det imidlertid vigtigt at modellere dem til et ensartet niveau.

Undervejs i modelarbejdet bliver man klogere. Blandt andet kan det vise sig at problemanalysen eller specifikationerne skal justeres eller suppleres. Ligeledes kan det vise sig at modellerne skal tilpasses, for at de egenskaber som man ønsker at vurdere, kan vurderes.

Sammenfatning

- Udfør modeller så simpelt som muligt.
- Heller mange grove modeller end få meget fine modeller.
- Fysiske modeller er specielt gode, fordi de taler til flere sanser samtidigt og derfor giver "bredbånds" information til underbevidstheden.

Løsning af statiske systemer

Det statiske system kan ikke vælges uden at tage hensyn til bla. materialer, samlinger og byggeproces samt klimaskærmens opbygning og udformning.

Spiralproces

I stedet for at løse et problem ad gangen kan man derfor med fordel se problemløsningsprocessen som en spiral, hvor man for hver omgang kommer forbi hvert problemområde, og for hver omgang detaljerer løsningsmulighederne for området mere og mere, og samtidigt skiller de dårligste løsninger fra.



For et statisk projekt hvor det overordnede statiske system ikke er valgt på forhånd, kan problemløsningsprocessen forløbe således:

Konstruktivt system, første gennemløb:

1. Fastlæggelse af problem og løsningsmål
 - 1.1. Hold et møde med arkitekt/bygherre og diskuter/afklar:
 - 1.1.1. Bygningens formål og de arkitektoniske ideer
 - 1.1.2. Geometriske krav og ønsker
 - 1.1.3. Eventuelle krav eller ønsker til materialer
 - 1.1.4. Andre ønsker til eller forestillinger om konstruktionen
 - 1.2. Indhent information om øvrige "randbetingelser":
 - 1.2.1. Bygningens placering og orientering
 - 1.2.2. Nytte- og naturlaster
 - 1.2.3. Geotekniske forhold og funderingsmuligheder
 - 1.2.4. Bygningens levetid
 - 1.2.5. Andre relevante problemstillinger
2. Opsøgning og modellering af løsningsmuligheder
 - 2.1. Afklar bygningens hovedgeometri og konstruktionsrummet, det vil sige det rumlige område, som kan benyttes til konstruktionen
 - 2.2. Opbyg et statisk system ved at indlægge konstruktive elementer indenfor bygningens geometri, eller
 - 2.3. Afsøg forskellige kendte statiske systemer og virkemåder, og
 - 2.3.1. Benyt eller tilpas et "standard" system, eller
 - 2.3.2. Benyt eller tilpas et enestående system, eller
 - 2.3.3. Sammensæt systemet af kendte delsystemer
 - 2.4. Modeller konstruktionsrummet i et elastisk materiale og benyt hovedspændingerne til udformning af det statiske system
3. Undersøgelse og bearbejdning af de enkelte løsninger
 - 3.1. Afklar optagelse af lodret last (det bærende system)
 - 3.2. Afklar optagelse af vandrette laster (de stabiliserende systemer)
 - 3.3. Overvej samlingernes placering, snitkræfter og udformning
 - 3.4. Overvej placering af elementer med risiko for buckling
 - 3.5. Afklar og beskriv det konstruktive princip

4. Vurdering og valg af løsninger
 - 4.1. Vurder løsningerne i forhold til de opstillede krav og kriterier, samt
 - 4.1.1. Konstruktiv klarhed
 - 4.1.2. Mulige materialer
 - 4.2. Vælg de bedste løsninger

Materialer, første gennemløb:

1. Opsøg mulige materialer i forhold til:
 - 1.1. Arkitektonisk idé
 - 1.2. Det konstruktive system
 - 1.2.1. Fysiske egenskaber
 - 1.2.2. Elementgeometri
 - 1.3. Samlingsprincipper
 - 1.4. Økonomi
 - 1.5. Ressource og miljøpåvirkning

Byggeproces, første gennemløb

1. Opsøg mulige processer i forbindelse med:
 - 1.1. Fundering
 - 1.2. Levering af materialer
 - 1.3. Fremstilling af komponenter/elementer
 - 1.4. Transport
 - 1.5. Montage
 - 1.6. Eventuel demontage eller nedrivning

Konstruktivt system, andet gennemløb:

1. Mere detaljeret undersøgelse og bearbejdning af de enkelte løsninger
 - 1.1. Analyser og afklar den statiske virkemåde fuldstændigt
 - 1.1.1. Tjek og juster eventuelt beskrivelsen af det konstruktive princip
 - 1.2. Vurder hvilke lastkombinationer der er mest kritiske for den betragtede løsning
 - 1.3. Skitser og overslagsdimensioner de enkelte elementer i forhold til materialer og snitkræfter
 - 1.3.1. Vurder hvilke lastkombinationer der er mest kritiske for de enkelte elementer
 - 1.3.2. Beregn overslagsmæssigt de mest kritiske snitkræfter
 - 1.3.3. Find overslagsdimensioner på typiske og på kritiske elementer
 - 1.4. Overvej
 - 1.4.1. Placering og udformning af elementer med risiko for buckling
 - 1.4.2. Elastisk og/eller plastisk opførsel
 - 1.4.3. Fordeling af stivhed
 - 1.5. Skitser udformninger af de enkelte samlinger i forhold til materialer og snitkræfter
 - 1.6. Vurder konstruktionsproces (fremstilling, transport og montage) og eventuelt pris
 - 1.7. Undersøg muligheder for at forenkle systemet, udforme det mere materialeøkonomisk eller gøre det nemmere at bygge
2. Vurdering og valg af løsninger
 - 2.1. Tilføj følgende kriterier udover ovenfor nævnte:
 - 2.1.1. Sammenhæng mellem hovedkonstruktion, delkonstruktioner og elementer
 - 2.1.2. Samlingsprincipper
 - 2.1.3. Byggeproces

Forelæsningsnotat

Anvendelse af hovedspændinger til udformning af det statiske system

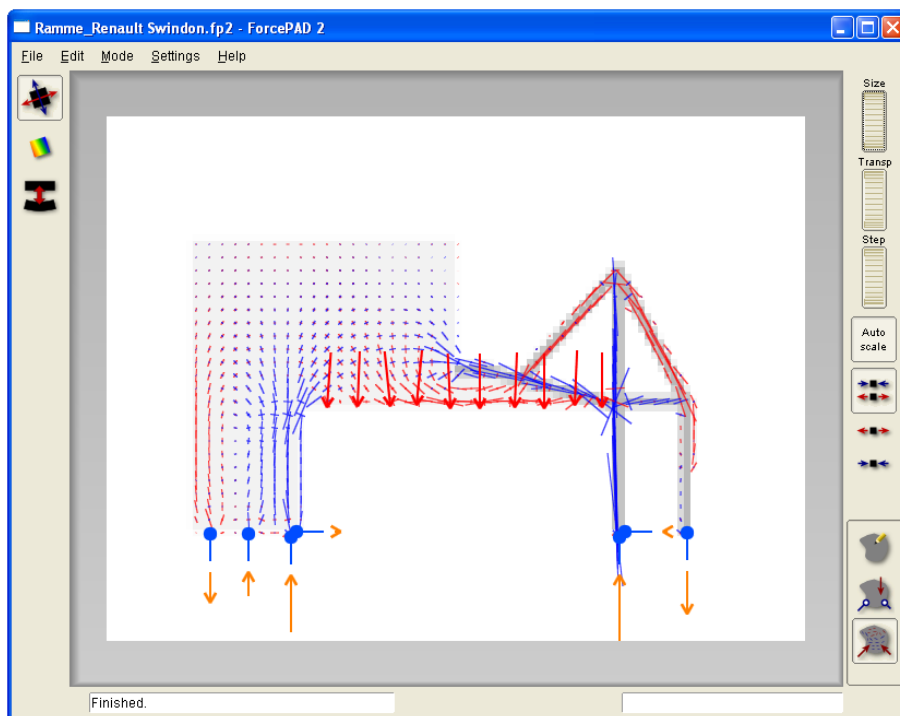
En indledende statisk analyse begynder med en fastlæggelse af de konstruktive begrænsninger og muligheder med hensyn til:

- Geometri (hvad skal konstruktionen dække, hvor *skal* der være konstruktion og hvor meget må konstruktionen fylde?)
- Understøtninger (hvor kan konstruktionen understøttes?)
- Laster (hvilke væsentlige lastpåvirkninger er der?)
- Materialer (hvilke materialer skal/ må der bruges?).

Herefter vil et simpelt FEM program som ForcePad i mange tilfælde kunne benyttes til at undersøge mulige statiske systemer.

Som inddata benyttes det område som konstruktionen må fylde, dette kaldes *konstruktionsrummet*, de områder hvor der eventuelt skal være konstruktion fx gulve, samt de mulige understøtninger og de primære laster.

Som uddata fås hovedspændingsretningerne og deres størrelser samt den resulterende spændingsintensitet i de forskellige dele af konstruktionsrummet. Specielt hovedspændingsretningerne og deres størrelser indikerer her efter hvor det konstruktive system med fordel kan placeres, hvilke materialer der kan benyttes (tryk/træk) og hvordan det kan udformes (figur 1).



Figur 1. Til venstre ses design space, understøtningsmuligheder og primære laster samt de resulterende hovedspændinger. Til højre ses et konstruktivt system, der er udformet på basis af disse hovedspændinger. Dette konstruktive system er anvendt ved Renault Center, Swindon, England. Arkitekt: Forster. Ingeniør: Arup.

Da konstruktionen og det statiske system i mange tilfælde kan beskrives ved at betragte et eller flere planer, kan denne metode også anvendes til at designe delsystemer.

Metoden kan naturligvis ikke anvendes til at sikre konstruktionens rumlige sammenhæng og stabilitet.

Forelæsningsnotat – Konceptuelt konstruktionsdesign

Skitsering af statiske systemer

Indledning



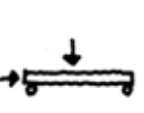





Ved konceptuelt design af bærende konstruktioner, ved statisk beregning og dimensionering af bærende konstruktioner samt ved analyse af eksisterende konstruktioner er der behov for at kunne arbejde abstrakt og dog konkret med opbygningen af de statiske modeller, det som vi også kalder de statiske systemer.

Definition:

Et statisk system (structural system) er en statisk model, der angiver den primære statiske virkemåde af den betragtede konstruktion eller delkonstruktion, når den er påvirket af de givne laster.

Med "den primære statiske virkemåde" menes at det statiske system kun skal vise de elementer der overfører de største kræfter, samt de elementer der derudover viser sig at være nødvendige for at sikre systemets ligevægt.

Et statisk system består af et eller flere konstruktive elementer, også kaldet konstruktionselementer. Til de konstruktive elementer henregner vi her: stænger, tove, buer, bjælker, skiver, teltflader, skælflader, torsionsstænger, plader og massiver. Stænger kan med fordel opdeles i trækstænger og trykstænger/søjler. De konstruktive elementer er hver især karakteriseret ved en geometri og en statisk model, der indebærer en særlig statisk virkemåde (figur 1).

Geometri \ Indre Statik	Indre Statik		
	1D	2D	3D
1D			
2D			
3D			

Figur 1. Oversigt over de vigtigste konstruktive elementer.

Et statisk system er opbygget af konstruktive elementer. Det vil sige at:

De konstruktive elementer skal betragtes som byggesten hvormed man kan opbygge statiske systemer.

Gitre og rammer er egentlig i sig selv statiske systemer, men da de er så almindelige betragtes de ofte i sig selv som konstruktive elementer (figur 2).



Figur 2: Gitter og ramme, to typer konstruktive systemer der består af henholdsvis stænger og bjælker. Ofte betragtes de imidlertid som to typer konstruktive elementer.

Det er netop karakteristisk for bærende konstruktioner at de aldrig er fuldt ud beskrevet ved én statisk model, eller ét statisk system.

For det første må man betragte den konstruktive opbygning som et hierarkisk system, et system der er knyttet til den skala man betragter konstruktionen eller delkonstruktionen i. For eksempel kan en gitterbjælke på ét niveau blot betragtes som en bjælke og på et mere detaljeret niveau som en gitterkonstruktion. Tilsvarende kan en sømmet forbindelse mellem en bjælke og en stolpe på ét niveau betragtes som et charniere, på et andet niveau betragtes som en stift-plastisk forbindelse og på et tredje niveau som et system af elastisk understøttede bjælker. Det vil sige at:

Til forskellige skalaniveauer hører forskellige statiske systemer.

For det andet kan det samme element i konstruktionen optræde som ét konstruktivt element i ét lasttilfælde og som et andet - eller måske inaktivt - konstruktivt element, i et andet lasttilfælde. For eksempel kan en søjle i en facade optræde som søjle i det bærende system, som bjælke i det stabiliserende system, hvor der optræder vindlast på facaden, og være inaktiv ved vindlast langs facaden. Det vil sige at:

Til forskellige lasttilfælde hører forskellige statiske systemer.

Kommunikation af statiske systemer

For at kunne arbejde med noget abstrakt skal man kunne kommunikere det.

Et statisk system er som udgangspunkt en abstrakt rumlig model, der viser:

- de væsentligste statiske elementer der indgår i en bærende konstruktion
- hvordan de er forbundet, samt
- hvordan systemet er belastet og understøttet

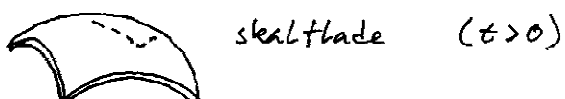
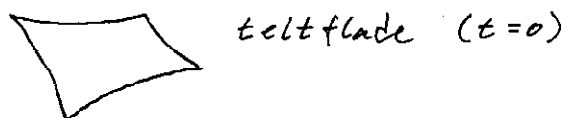
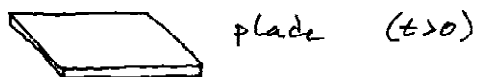
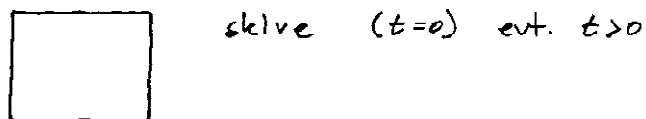
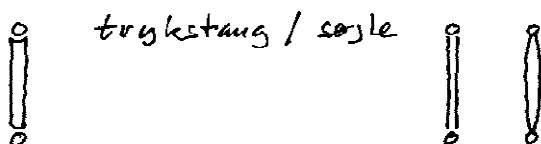
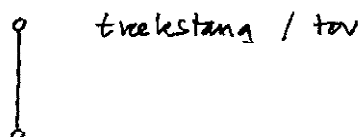
En sådan model kommunikerer bedst visuelt eller – især hvis man er i tvivl om den statiske virkemåde - fysisk.

I det følgende foreslås en metode til at kommunikere statiske systemer visuelt og så vidt muligt entydigt.

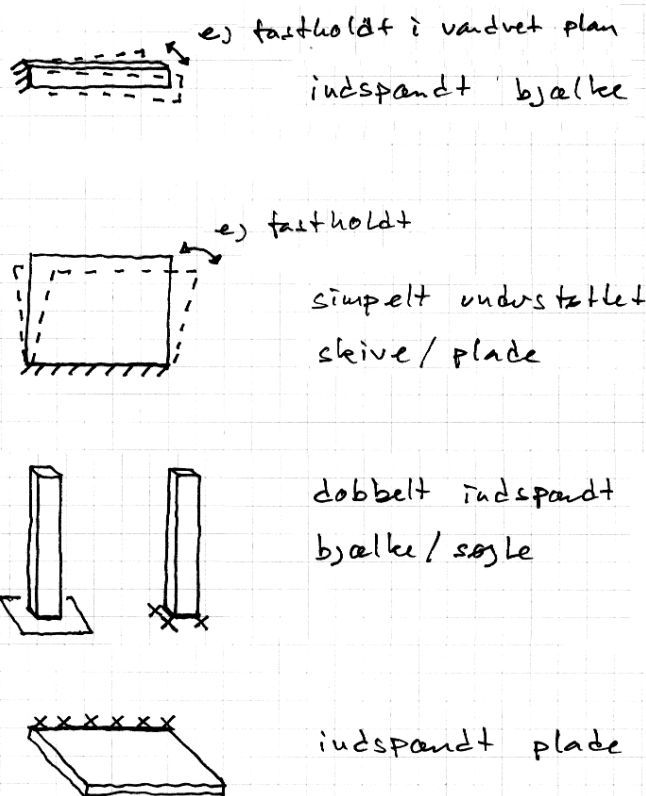
Skitsering af konstruktive elementer

For de konstruktive elementer anvendes de i (figur 3 og 4) viste signaturer. Signaturen har til hensigt både at vise elementets geometri og dets statiske virkemåde. Da der til de enkelte elementers statiske virkemåde knytter sig et beregningsapparat, viser signaturen således i princippet også hvordan elementet skal analyseres og dimensionerne bestemmes.

- charnière
- ⊕ fast simpel understøtning
- ⊖ bevægelig simpel understøtning
- ◇ indspænding



Figur 3. Signaturer for konstruktive elementer og understøtninger.



Figur 4. Signaturer for understøtninger.

Ideen med at inddele de konstruktive elementer i forskellige typer er at gøre en kompleks sammenhæng, som et statisk system er, overskueligt og håndterligt. Afhængigt af den enkelte opgave kan man tilpasse inddelingen eller elementernes egenskaber.

Skitsering af statiske systemer

Ved skitsering af et statisk system anvendes de i (figur 3 og 4) viste signaturer for de enkelte konstruktive elementer. Det kan være en fordel at starte med et overordnet system og gradvist forfine det ved at betragte de enkelte delsystemer. Ligeledes kan det være fordelagtigt at betragte snit og opstalter, det vil sige 2D systemer, og opdele disse i bærende og stabiliserende systemer. Det enkelte system kan betragtes som et stift legeme, hvis ydre påvirkninger dvs. laster og reaktioner, skal være i ligevægt. For at bevare overblikket anbefales det kun at påføre de væsentligste af de til det betragtede system hørende ydre laster. Ved statisk ubestemte systemer, må man anvende plasticitetsteoriens nedreværdisætning og overveje hvilke dele der er stivest, og dermed overfører de største kræfter.

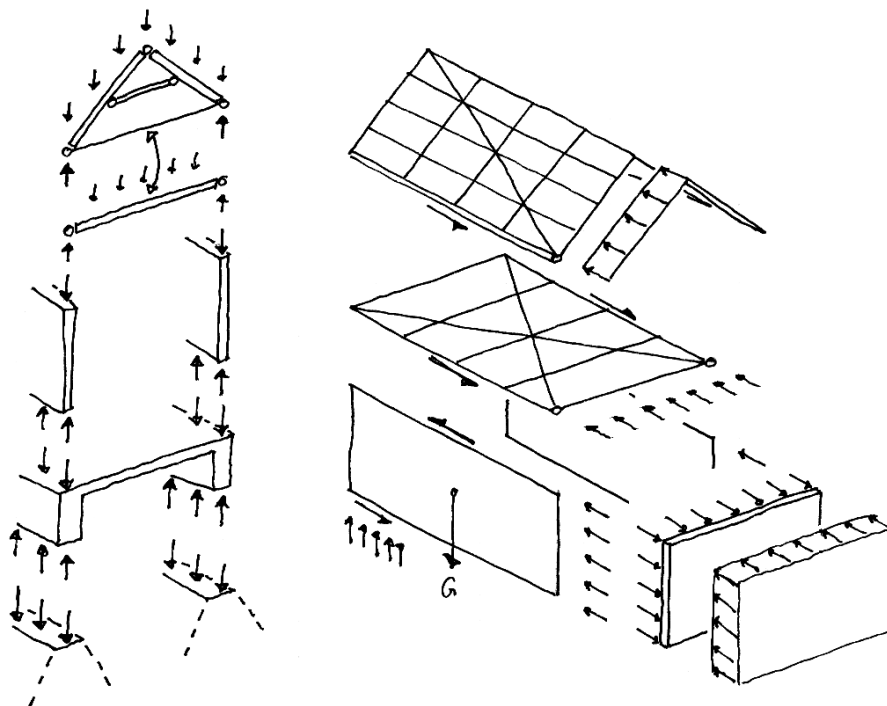
Grundregler:

1. Vis hvert system i 2D eller 3D
2. Delsystemer og delsystemers delsystemer tegnes særskilt
3. Mere komplicerede systemer kan tegnes rumligt, sprængt eller som tegneserier
4. De konstruktive elementer vises med deres signaturer
5. De ydre påvirkninger (laster og reaktioner) vises med pile
6. Indre kræfter kan eventuelt vises med:

rød = træk	violet = bøjning
blå = tryk	orange = vridning

Fremgangsmåde:

1. Betragt det enkelte system som et stift legeme, hvis ydre påvirkninger skal være i ligevægt
2. Påfør først de væsentligste ydre laster og derefter reaktionerne, således at systemet kommer i ligevægt
3. Betragt plane snit/opstalter, med mindre konstruktionen er rumlig
4. Opdel i bærende og i stabiliserende systemer
5. Forfin gradvist
6. Husk at de stiveste konstruktionsdele tager den største last (plasticitetsteoriens nedreværdisætning)
7. Anvend reglerne for skivekonstruktioners stabilitet til at sikre den rumlige stabilitet



Figur 4. Eksempel på skitsering af henholdsvis det bærende og det langsgående stabiliserende system i et lille hus.

Forelæsningsnotat 7 – 11995

Information og viden

Man kan se et designprojekt som en vidensproces. Projektets formål er at nå fra en usikker forestilling om et resultat til et sikkert resultat, det vil sige til en sikker viden om at resultatet fungerer som ønsket.

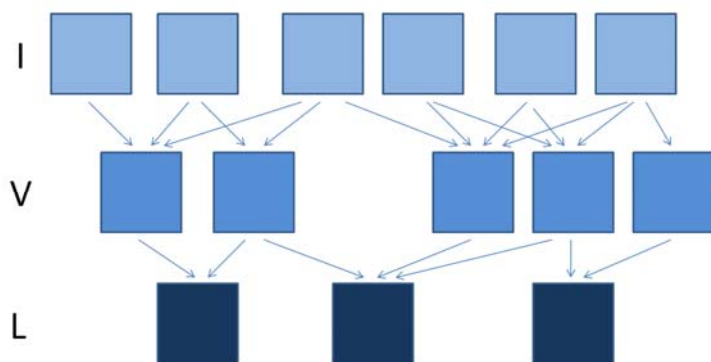
På samme måde kan et designprojekt ses som det at håndtere en informationsstrøm, hvor mange små kilder samles og bearbejdes til en flod af information. I praksis består denne flod af projektets dokumentation; typisk tegninger, beregninger og rapporter.

Der indgår tre kreative processer i dette:

1. At opsøge og udvælge viden og relevante informationer
2. At skabe viden ud fra indsamlede informationer
3. At udvælge og samle viden til løsninger

Viden er viden om sammenhænge mellem informationer. Viden er ofte kontekstuel, det vil sige at den kun er relevant eller kun har værdi, under nogle givne omstændigheder.

En løsning er opbygget af mange små stumper af viden fra forskellige områder, der er kombineret og sat sammen sådan, at de tilsammen danner løsningen. En ny løsning kan altså skabes på principielt to forskellige måder; enten ved at sætte ny viden sammen med eksisterende viden, eller ved at sætte eksisterende viden sammen på en ny måde.



Figur 1. Diagram der viser hvordan informationer (I) kan samles til viden (V) der igen kan samles til løsninger (L).

Bemærk at der ikke er stor principiel forskel på en viden og en løsning. Men løsningen er dog som oftest mere kompleks og mere kontekstuel, hvor viden er mere generel og måske ikke opleves helt så kompleks.

Konstruktion og viden

I "Ordbog over det Danske Sprog" beskrives begrebet *at konstruere* således:

konstruere, v. [kønsdru'e² rø] Høysg. AG.76. -ede ell. (sj.) -te. *vbs.* Konstruktion (s. **d.**). (ty. **konstruieren**, af lat. **con-struere**, **føje**, **dynge sammen**, **danne ved sammenføjning**; jf. destruere, instruere)

1) *sammenføje*; bygge et hele op af enkelte dele; i alm. spr. især m. h. t. konkr. (nytte)genstand: *skabe*, *danne* ved at forbinde ell. anordne de enkelte dele *paa en hidtil ukendt maade*; bygge; spec. (fagl., især mat.) m. h. t. tegning, (geometrisk) figur: *tegne*; *ridse op* (ved hj. af passer, lineal osv.).(..)

Det at samle viden og skabe løsninger betegnes normalt som at danne en syntese, eller som en synteseproces i modsætning til en analyseproces.

Det ses ovenfor at synteseprocessen er helt parallel til konstruktionsprocessen, blot er det ikke objekter, men viden der forbindes.

Videns- og konstruktionsprocessen i et designprojekt er altså to helt ensartede processer, der foregår parallelt, men på to forskellige niveauer.

På den baggrund kan man sige at kunsten i et designprojekt er at lede de rigtige steder efter information og at forholde sig konstruktivt til den information man finder.

Kilder til information og viden

Fastlæggelse af opgave og dermed også løsningsmuligheder, samt vurdering af løsninger:

- Interessenter:
 - o Bygherre
 - o Bruger
 - o Arkitekt
 - o Andre fagingeniører
 - o Entreprenører
 - o Leverandører
 - o Teknisk forvaltning

Opsøgning af løsningsmuligheder

- Eksisterende viden
 - Intern viden
 - o Egen viden
 - o Kollegers viden
 - o Fagbøger, arkiver og projekter
 - Ekstern viden
 - o Leverandører
 - o Ekspertter
 - o Myndigheder
- Ny viden
 - Eksperimenter
 - o Forsøg med fysiske, numeriske eller grafiske modeller
 - Undersøgelser
 - o Indsamling og analyse af eksisterende information fra fx nettet, tidsskrifter og bøger
 - o Besøg og registrering på stedet
 - Ekspertter
 - o Diskuter løsningsmuligheder – både mulige og umulige
 - o Hør om nye kilder til viden

Forelæsningsnotat 8 – 11995

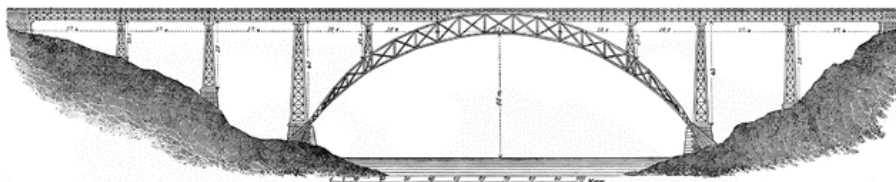
Koncepter

Begrebet koncept er blevet meget anvendt i de seneste 20 år. Vi vil her benytte begrebet i tre betydninger og sammenhænge:

1. En helhedsløsning baseret på en grundlæggende ide (et greb) der giver alle delløsninger
2. En projektfase der afdækker problemområder og gennemførlighed af nye løsninger
3. Som en metode til afdækning af mange løsninger ved systematisk at flytte fokus

1. Helhedsløsning

I mange tekniske sammenhænge, men også i produkt- og forretningsudviklingssammenhænge, bruges begrebet koncept til at beskrive en grundlæggende ide eller et løsningskompleks, der – i hvert fald principielt - giver eller afføder alle delløsninger. På denne måde er et koncept således både en løsningsstrategi og en metode til at skabe en sammenhæng imellem løsningerne og dermed i det færdige resultat. Arkitekterne benytter sig af et parallelt begreb, ordet "greb", der både betegner en måde at angribe opgaven på og en måde at håndtere den på. Ud fra den synsvinkel kan man også sige at begrebet på en gang dækker over hvad man ser som problemet og hvad man ser som løsningen. I dette ligger implicit en forventning om at der er en nødvendig sammenhæng mellem problem og løsning, det vil sige at problemet så at sige giver løsningen af sig selv, når først det er fastlagt.

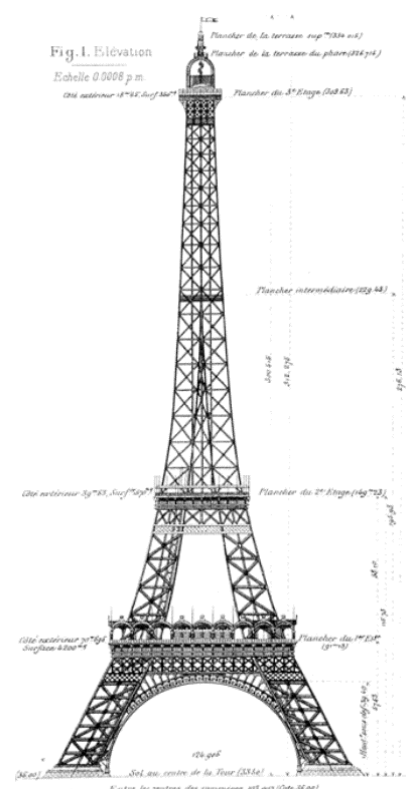


Figur 1. Ponte Pio, Porto, og Tour Eiffel, Paris, i ca. samme målestoksforhold.

Eksempel

Der er en tydelig sammenhæng mellem de konstruktive koncepter på Eiffels tre konstruktioner: Ponte Pia, Porto 1877, Viaduc Garabit, Cantal 1884 og Eiffeltårnet, Paris 1889. De er alle fremstillet af som gitterkonstruktioner. De enkelte stænger er nittet sammen af stålprofiler. Og stængerne er standardiserede og præfabrikeret på værksted. Det er således det samme produktionsapparat, der er blevet anvendt til alle tre konstruktioner.

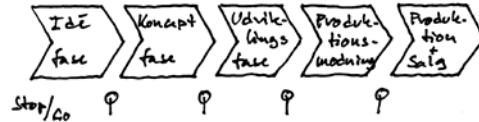
De to broer har præcist det samme overordnede koncept, men alle tre konstruktioner er formgivet ved at følge det samme princip. Første forslag til udformning tager udgangspunkt i en geometrisk form, der kan beskrives simpelt matematisk, fx parablen. Konstruktionen analyseres og snitkræfterne findes. Formen tilpasses derefter således at momenter reduceres. For Ponte Pio betyder dette at buens form er sammensat af to parabler, der mødes med et næsten usynligt knæk under de to søjler, der står på buen nær fjerdedelspunkterne.



2. Projektfase

Konceptfasen ligger i produktudviklingsprojekter mellem idéfasen og udviklingsfasen. I et byggeprojekt vil konceptfasen typisk indgå i eller erstatte forslagsfasen.

Produktudvikling: Coopers stop/go model



Byggeprojekt:



Figur 2. Diagram der viser typiske projektforsløb for produktudviklingsprojekter og byggeprojekter. "Stop/go" indikere et beslutningspunkt, hvor projektet vurderes og det besluttes om det skal overgå til næste fase.

Formålet med konceptfasen er først og fremmest at få afdækket alle væsentlige problemområder og sikre gennemførlighed af nye løsninger.

I ethvert projekt tages de beslutninger med størst indflydelse på projektets resultat, herunder økonomien i projektet, på et tidligt tidspunkt og ofte på et tyndt grundlag. Det enkelte projekts særlige værdi er som regel knyttet til de nye behov eller løsninger, som er kommet frem i idé- eller programfasen. Da disse er nye, er de også usikre. Det er derfor et af konceptfasens væsentligste formål at undersøge og bearbejde de nye løsninger, således at risikoen for at støde ind i væsentlige og uforudsete problemer i projekteringsfasen er lille, og dermed sikre at projektet kan gennemføres som tænkt.

Eksempel 2

I forbindelse med udviklingen af DTU's projekt til Solar Decathlon 2012 "FOLD" var vi usikre på en række forhold ved de "stressed skin" elementer, som på daværende tidspunkt syntes at være den eneste løsning og en meget væsentlig del af hele projektet. Det der skulle undersøges var fx:

- Ville de være for komplicerede at bygge?
- Ville vi kunne løfte og placere de skrå elementer tilstrækkeligt præcist?
- Ville vi kunne montere dem hurtigt nok?
- Virkede de samlinger vi havde tegnet, efter hensigten?
- Kunne solcelle panelerne formonteres på elementerne?

Vi besluttede at fremstille en mock-up i 1:1 af de to største rækker elementer for at afklare disse spørgsmål. Og det viste sig at alle ovenstående spørgsmål kunne besvares med et "ja", dog valgte vi at ændre på samlingerne. Se <http://solardecathlon.dk/wordpress/gallery/?id=72157629230849895>

Eksempel 3

Skallerne på Sydney Opera House viste sig efter 4 års analysearbejde, ikke at kunne fungere statisk som skaller. Et nyt koncept måtte findes. Se Arup and Zunz (1969): *Sydney Opera House* og forelæsning.

3. Idealkoncepter

Idealkoncepter anvendes i forbindelse med løsningsgenerering til afdække mange løsningsmuligheder ved systematisk at holde fokus på en række idealer, der er opstillet på forhånd. Det kunne være idealer som: montagevenlig, hurtigt at projekterer, ufølsomhed overfor store tolerancer, etc.

Eksempel 4

Miljøprincipper i "Miljøforbedring gennem produktudvikling – en guide", se <http://www2.mst.dk/udgiv/publikationer/2008/978-87-7052-870-2/pdf/978-87-7052-871-9.pdf> side 32-35.

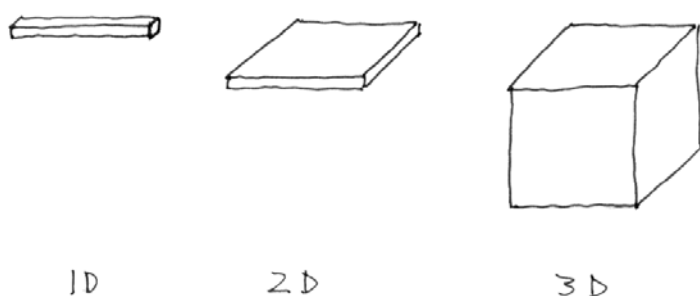
Forelæsningsnotat 9 - 11995

Materialer

Indledning

For at kunne designe et fornuftigt statisk system er det nødvendigt at kende de indgående materials fysiske egenskaber, deres fremtrædelsesformer og deres pris. Vi vil her se på de to første punkter.

For en indledende skitsering er det tilstrækkeligt at afklare materialernes *styrke* overfor tryk og trækpåvirkning, deres *stivhed* samt om bruddet er *skørt* eller *sejt*. Desuden er det hensigtsmæssigt at afklare om materialet fremtræder i stangformede (1D), i pladeformede (2D) eller som massive (3D) elementer og hvordan dette afhænger af den aktuelle størrelse (figur 1).



Figur 1. Fremtrædelsesformer.

Materialeanalyse

Ved en nærmere analyse og udvælgelse af materialer kan følgende fysiske egenskaber være aktuelle at undersøge:

- | | |
|---------------------------------|-----------|
| - Densitet | δ |
| - Regningsmæssig trykstyrke | f_{cd} |
| - Regningsmæssig trækstyrke | f_{td} |
| - Regningsmæssig bøjningsstyrke | f_{md} |
| - Regningsmæssig E-modul | E_d |
| - Varmeledningsevne | λ |
| - Varmefylde | |
| - Varmedudvidelseskoefficient | α |
| - Brandmodstandsevne | |

Materialets effektivitet med hensyn til bæreevne afspejles af følgende forhold:

- | | |
|-----------------------|---------------------------|
| - Trækstyrke/egenvægt | $f_{td}/(\delta \cdot g)$ |
| - Trykstyrke/egenvægt | $f_{cd}/(\delta \cdot g)$ |
| - E-modul/egenvægt | $E_d/(\delta \cdot g)$ |

Udover materialernes pris og fysiske egenskaber betyder deres fremstillingsformer, den måde de produceres og samles på, deres tilgængelighed, eventuel præfabrikation, transport samt hvordan de monteres og håndteres på byggepladsen – kort sagt de byggetekniske aspekter – også meget for valget af materialer.

Et grundlæggende kendskab til materialer, samlinger og byggeteknik er derfor en vigtig forudsætning for at kunne vurdere og vælge materialer til konstruktioner.

Stikord for en række aktuelle byggematerialer

Alle opgivne styrker er regningsmæssige.

Armeret beton, støbt på stedet (in-situ)

Princip: Beton tager tryk, armering tager træk

Densitet = 2.400 kg/m³

Beton trykstyrke: $f_{cd} = 14 - 35$ MPa

Armering trækstyrke: $f_{yd} = 370 - 500$ MPa

Beton arbejdskurve, idealiseret => elastisk-plastisk

Armerings arbejdskurve, idealiseret => elastisk-plastisk

Bæreevne beregnes efter plastisk teori

Bøjningsbæreevne: plane snit, beton tøjning $\leq 0,35\%$, armering tøjning \leq

$f_{yd}/200.000\text{MPa}$, typisk trykzonehøjde = $\omega * h = 0,2-0,3 * h$

Simpel elastisk overslagsberegning:

$E = E_{\text{beton}} = 1.450 * f_{cd_beton}$, $f_{cd} = f_{cd_beton}$

Konstruktionselementer: søjler, bjælker, skiver og plader (buer og skaller)

Samlinger:

Kontakttryk (leje)

Geometri: Lejedybde $a \sim$ bredde b

Trykspænding dimensionerende

Glasfiberarmerede profiler

Styrke, stivhed og densitet, se fx Fiberline

Konstruktionselementer: søjler og bjælker

Beregnes med elastisk teori

Samlinger:

Boltede dornsamlinger med stålbeslag. Hulrandsstyrke og reduceret tværsnit dimensionerende, eventuelt også momentkapacitet i beslag

Samlinger beregnes med plastisk teori

Murværk

Princip: Udformning og egenvægt anvendes til at sikre at der altid er tryk i tværsnittet

Trykstyrke $f_{cd} = 4$ MPa (stenstyrke 25 og kalk/cementmørtel), trækstyrke = 0

Densitet = 1.700 kg/m³

Konstruktionselementer: søjler, buer, skiver og skaller

Beregnes med plastisk teori

Samlinger:

mørtelfuger = kontakttryk samlinger med friktion

Friktionskoefficient $\mu_d = 0,5$

Stål

Isotropt materiale

Styrke: $f_{yd} = 200 - 400$ MPa, Stivhed: $E_d = 200.000$ MPa

Densitet: 7.850 kg/m³

Konstruktionselementer: trækstænger, søjler og bjælker (tove)

Beregnes normalt med elastisk teori

Princip: Søjle- og bjælketværsnit udformes så forholdet mellem bøjningsbæreevne og tværsnitsareal bliver stort, men lokal buckling undgås.

Samlinger:

Boltsamlinger: Dornsamlinger, friktionssamlinger og træksamlinger.

Overklipping, hulrandsstyrke og reduceret tværsnit typisk dimensionerende

Geometri styres af hulafstande

Svejsesamlinger: Kantsømme typisk forskydningsspændinger, stumpsømme typisk normalspændinger dimensionerende

Princip: Svejsesømmen udføres med samme styrke som grundmaterialet

Samlinger beregnes med plastisk teori

Træ

Styrke, se ståbi. Regningsmæssig styrke afhænger af lastvarighed og anvendelsesklasse (fugtpåvirkning)

Rundtømmer kan regnes som C30, jf. DS 413:2003

Densitet: 350 – 500 kg/m³

Konstruktionselementer: søjler og bjælker. (Massivtræ: skiver og plader)

Beregnes med elastisk teori

Samlinger:

Kontakttryk samlinger: tværtrykstyrke typisk dimensionerende

Dornsamlinger: Søm, skruer, bolte eller dorne. Dorn diameter og trætykkelse dimensionerende

Geometri styres af hulafstande, der afhænger af både fiberretning og kraftretning

Limtræ: Indlimede bolte giver mulighed for træk/tryk samlinger

Samlinger beregnes med plastisk teori

Litteratur

Teknisk Ståbi, 21. udgave 2011, Nyt Teknisk Forlag, København.

Forelæsningsnotat 11 - 11995

Projektledelse

Dette notat omhandler kun de "hårde" projektledelsesværktøjer og begreber, og er på en meget kort form. De mere almene ledelsesorienterede discipliner som medarbejderledelse, organisering, økonomi, udvikling af virksomhedskultur osv. må man lede andre steder efter. Men det er heller ikke vanskeligt, da der er skrevet meget om disse emner.

Projekt (definition)

En midlertidig skræddersyet organisation, der løser en afgrænset, vanskelig opgave.

Hovedfaser i et projektforløb:

Fase 1: Fornylse (Eksempel: Program / Idé fase)
fokus: overblik og innovation
resultat: beskrivelse og afgrænsning af opgave

Fase 2: Fordybelse (Eksempel: Skitse / Konceptfase)
fokus: kvalitet
resultat: beskrivelse af løsning

Fase 3: Færdiggørelse (Ex: Projekterings / Udviklings fase)
fokus: aflevering
resultat: aflevering/dokumentation af løsning

Principper for ledelse af udviklingsprojekter:

- Klar rollefordeling
- Situationsbestemt strategi
- Ledelse gennem klare aftaler
- Styr på resultaterne: identificer mellemresultater og mål på resultater

Rollefordeling vedrører projektets organisering og forholdet til den (de) omgivende organisation, og er den proces hvor de enkelte deltageres roller og opgaver fastlægges

Strategi

Strategien er den overordnede fremgangsmåde i projektet. Strategien fastlægges på basis af det enkelte projekts mål og vilkår. Deraf følger at den må og skal være situationsbestemt

Der findes tre grundlæggende strategisk principper for usikre og komplekse opgaver:

- 1) udnyt alle kræfter
- 2) koncentrer kræfterne
- 3) ryk frem i højt tempo

Planlægning

De centrale aftaler i et udviklingsprojekt er specifikationer, projektplanen og et estimat af ressourceforbruget. Disse aftaler indgås mellem projektet og dets omgivelser.

Projektplanen er en aftale om projektets forløb. Projektplanen fastholder de vigtigste aftaler om projektets aktiviteter: hvem der gør hvad, hvordan og hvornår. Projektplanen angiver faser og faseovergange.

Principper: Undgå unødige detaljer. Definer faser ved deres start- og sluttilstand.

Starttilstanden er fasens forudsætninger. Sluttilstanden er fasens resultater. Sørg for at resultaterne er målbare, således at der ikke er tvivl om hvor vidt de er nået.

Ved hver faseovergang fremlægges resultaterne for projektets styregruppe og det besluttet om næste fase igangsættes. I forbindelse med planlægningen af projektet gives hver faseovergang et navn, og kriterier og procedure for vurdering af resultater beskrives og vedlægges projektplanen.

Ressourcerne er i projektsammenhænge arbejdskraft, det vil sige ekspertise og arbejdstimer, samt økonomi, herunder eksterne ydelser og varer.

Et godt estimat af ressourceforbruget

- bygger på en sund faglig vurdering
- er baseret på et synligt grundlag
- er let at revidere
- baserer sig på - og medvirker til - opsamling af erfaringer
-

Årsagen til at grundlaget skal være synligt, det vil sige at det skal være vedlagt estimatet og helst aftalt med de enkelte leverandører, er at det gør det lettere for projektlederen at få ændret ressourcefordelingen, hvis projektets vilkår eller udvikling kræver dette.

Aftaler

Aftaler er projektlederens vigtigste virkemiddel. Der er i princippet fem aktiviteter i forbindelse med aftaler:

- Søg aftalepartnere
- Indgå aftaler
- Overvåge aftaler
- Revidere aftaler
- Erklære aftaler for indfrie

Ansvar og anerkendelse – princippet for god medarbejderledelse

Aftaler om aktiviteter og løsning af opgaver følger princippet om at definere dem ved deres forudsætninger og deres resultater – start- og sluttilstand. Undgå unødige detaljer. Dette gælder også aftaler med den enkelte medarbejder. Ansvar for udførelsen af den konkrete opgave ligger hos den enkelte medarbejder, der som udgangspunkt betragtes som ekspert og som derfor også opsøger hjælp og informationer, når vedkommende har brug for det.

Anerkendelse skal være synlig og finde sted indenfor projektgruppen. Men den skal også være synlig udenfor projektgruppen, specielt indenfor den gruppe i organisationen, som medarbejderen mener bedst kan vurdere og værdsætte den pågældendes ekspertise.

Projektstyring

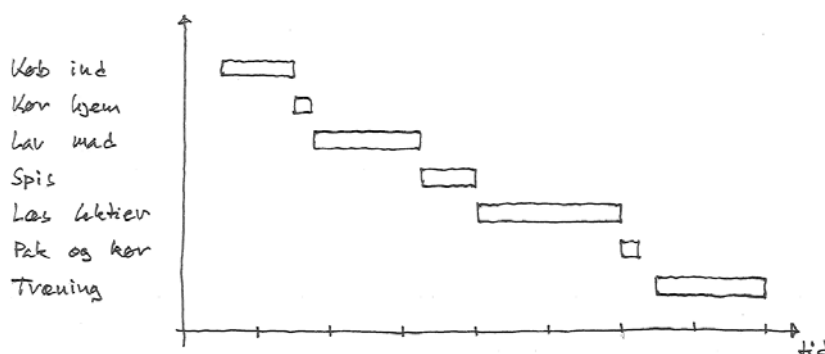
Projektstyring må man ty til, hvis projektet ikke går efter planen, hvilket det kun sjældent gør. For at styre – eller vide om der er behov for at styre – er der behov for at måle. Det der kan måles på, er ressourceforbruget, aktiviteterne og resultaterne. Hvis aktiviteterne ikke finder sted, skal der skaffes ressourcer til at udføre dem, hvis aktiviteterne ikke fører til de ønskede resultater, skal nye aktiviteter iværksættes og planer ændres. I begge tilfælde skal aftaler revideres og nye indgås. Ressourceforbruget kan let måles, aktiviteter kan vanskeligt måles, derfor skal fokus være på resultater og delresultater, specielt identifikation og måling af delresultater.

Projektledelsens vigtigste (og ofte eneste nødvendige) styreværktøjer er:

- 1) Projekt/opgave nedbrydningsdiagram
- 2) Tidsplan
- 3) Huskelister

Et opgavenedbrydningsdiagram, anvendes som navnet antyder, til at nedbryde opgaven i mindre dele – delopgaver eller aktiviteter – og er ofte opbygget som en træ-struktur. Det er ikke altid entydigt hvordan en opgave skal nedbrydes. For en design- eller udviklingsopgave er det væsentligt at være opmærksom på at aktiviteterne primært har til formål at tilvejebringe informationer, og derfor at overveje hvilke informationer, der er behov for hvornår.

For den enkelt fase kan der være brug for en mere detaljeret tidsplan. Her kan anvendes et såkaldt *Gantt kort*. Det er opbygget som et koordinatsystem med tiden ud af x-aksen og aktiviteterne ud af y-aksen, idet de første aktiviteter står øverst (figur 1).



Figur 1. Gantt kort

Et Gantt kort viser både arbejdstid og kalendertid. Aktiviteters indbyrdes afhængighed kan vises med pile og den *kritiske vej*, der anvendes til at finde den kortest mulige tidsplan for den pågældende opgave, kan findes. Gantt kort er imidlertid mindre egnede til udviklingsopgaver end til produktionsopgaver.

Andre relevante begreber

Integreret design:

Parallele og indbyrdes informerede og koordinerede udviklingsprocesser indenfor forskellige discipliner og/eller dele af organisationen

Projektgruppe:

En til lejligheden sammensat gruppe af personer. En projektgruppe går normalt igennem fem faser: dannelses-, konflikt-, norm-, effektivitets- og opløsningsfasen. Når projektgruppen dannes, er det en god ide at aftale gruppens ambition og spilleregler. De endelige spilleregler lægges fast i normfasen.

Risikostyring:

Indgår i projektplanlægning. Overvej hvilke hændelser der kan påvirke kvalitet, økonomi eller tid negativt, overvej hvor stor sandsynlighed, der er for de enkelte hændelser. Påvirkning x sandsynlighed = risiko. Overvej hvilke muligheder der er for at reducere de største risici. Vurder, vælg og gennemfør.

(Successtyring:

Tilsvarende procedure, men med modsat fortegn. Bør indgå i projektplanlægning.)

Tommelfingerregler for designprojekter:

- Løs det største problem først
- Løs problemer ved successive tilnærmelser
- Stop når omkostningerne ved at finde en bedre løsning overskrider besparelserne ved at have den
- Frys designet på et passende tidspunkt i projektet

Litteratur

Clausewitz, C. (1832): *Vom Kriege*, Dansk oversættelse, 1986, *Om krig*, Rhodos, København.

Munk-Madsen, A. (1996): *Strategisk projektledelse*, Forlaget Marko, Aalborg.